

И. Б. Амарская, В. Н. Королев

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОГРАНИЧИВАЮЩИХ ЗЕРНИСТЫЙ СЛОЙ СТЕНОК НА ВЕЛИЧИНУ ЕГО ПОРОЗНОСТИ

Работа посвящена исследованию порозности неподвижного зернистого слоя в трубках, отношение диаметра которых к размеру частиц слоя, изменялось от 1 до 3,5.

Ключевые слова: *неподвижный зернистый слой; порозность.*

I. B. Amarskaya, V. N. Korolev

Ural Federal University, Ekaterinburg

RESEARCH OF INFLUENCE OF WALLS LIMITING THE GRANULAR LAYER ON ITS SIZE POROSITY

Work is devoted to research porosity a motionless granular layer in tubes which relation of diameter to the size of particles of a layer, changed from 1 up to 3,5.

Keywords: *a motionless granular layer; porosity.*

Ранее [1] экспериментально исследован необычный эффект, заключающийся в том, что если полый цилиндр (трубку) определенного внутреннего диаметра опустить в неподвижный продуваемый зернистый слой, то дисперсная среда (смесь воздуха и частиц слоя), без дополнительных затрат энергии, движется вверх по каналу сплошным потоком или поршнями, идущими друг за другом. Высота подъема и характер движения частиц напрямую зависят от отношения внутреннего диаметра трубки к размеру частиц.

Визуально было установлено, что при $d_{\text{тр}}/d_{\text{ч}} \leq 2$ движения частиц по трубке не происходит. Начиная с $d_{\text{тр}}/d_{\text{ч}} = 4$ (рис. 1, а) наблюдался

стабильный подъем частиц на высоту, в 10 раз превышающую высоту насыпного слоя. При увеличении $d_{тр}/d_ч$ до 6 интенсивность подъема частиц (их количество и скорость движения по трубке) возрастала. Частицы двигались группами, образуя поршни (рис. 1, б). Поршневой режим движения дисперсной среды сохранялся и при $d_{тр}/d_ч$ более 7–10, но высота, на которую поднимались поршни, с увеличением диаметра трубок уменьшалась. При $d_{тр}/d_ч > 20$ никакого эффекта, связанного с движением частиц слоя по трубке, не наблюдалось. Если длина трубки меньше высоты подъема дисперсной среды, то происходит интенсивное фонтанирование частиц (рис. 1, в).

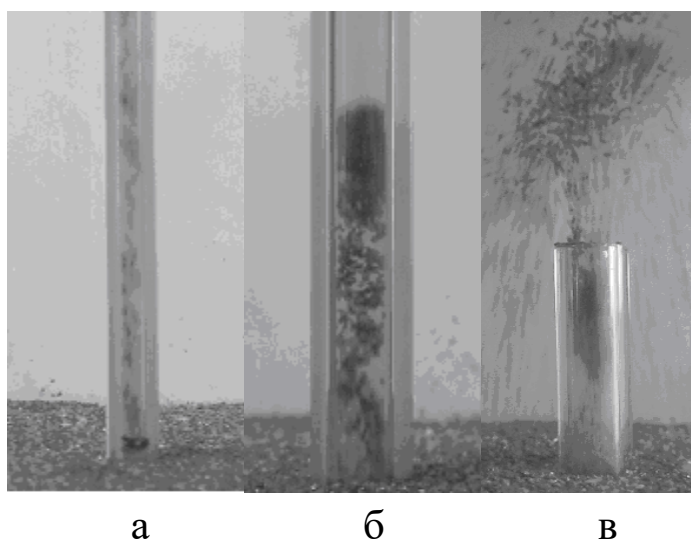


Рис. 1. Картина движения дисперсной среды по трубкам:
а) $d_{тр}/d_ч = 4$; б) $d_{тр}/d_ч = 6,5$; в) $d_{тр}/d_ч = 10$

Было предположено [2], что причиной самопроизвольного подъема твердых частиц в узкой трубке, погруженной в неподвижный продуваемый зернистый слой, является неравномерное сопротивление зернистого слоя по сечению трубки. У стенок трубки сопротивление меньше, чем в центре слоя. Известно [3], что в аппарате, диаметр которого на два порядка превышает размер частиц слоя, среднее значение порозности зернистого слоя на расстоянии $x/d = 0,5$ от стенки в 1,25 раз больше, чем вдали от нее. Если учесть это, то для узкой трубки диаметром 2,52 мм, в которой находится слой частиц эквивалентным диаметром 0,63 мм ($d_{тр}/d_ч = 4$), доля

площади сечения с повышенной порозностью (с меньшим гидравлическим сопротивлением и большей скоростью воздуха) составляет 43,7 %. Этим можно было бы объяснить наблюдаемый интенсивный подъем частиц. С увеличением отношения $d_{тр}/d_{ч}$ доля площади сечения трубки с повышенной порозностью уменьшается и для трубки внутренним диаметром 12,6 мм ($d_{тр}/d_{ч} = 20$) составляет только 9,7 %, поэтому никакого эффекта, связанного с движением частиц слоя внутри трубки, не наблюдается. Если следовать этой логике, то при $d_{тр}/d_{ч} = 2$ доля площади сечения с повышенной порозностью составляет 73,6 % и должен иметь место интенсивный подъем частиц, однако этот эффект отсутствует. Значит, причина самопроизвольного подъема частиц в узких трубках связана с влиянием ограничивающих слой стенок на структуру зернистого слоя и, как следствие, с величиной его порозности.

Литературные данные [4] по влиянию ограничивающих слой стенок на величину средней порозности при малых отношениях диаметра аппарата к размеру частиц слоя очень скудные и противоречивые. В связи с этим, целью данной работы, являлось экспериментальное определение величины средней порозности неподвижного зернистого слоя, в узких трубках, диаметр которых превышает размер частиц засыпки не более чем в 4 раза.

Порозность зернистого слоя определялась опытным путем. В качестве твердой фазы использовались алундовые частицы сферической формы диаметром 2 и 2,68 мм. Масса загружаемых в трубку частиц измерялась на электронных весах. Зная объем одной частицы и количество загружаемых в трубку частиц, определяли истинный объем твердой фазы. Измерялся объем слоя, засыпанного в трубку. По известной массе материала и измеренному объему засыпки подсчитывалась плотность насыпного слоя ($\rho_{нс}$). Затем, зная истинную плотность частиц (ρ) слоя, рассчитывали величину порозности засыпки $\varepsilon = 1 - \frac{\rho_{нс}}{\rho}$. На рис. 2 приведены данные по средней порозности зернистого слоя в зависимости от отношения диаметра трубки к размеру частиц.

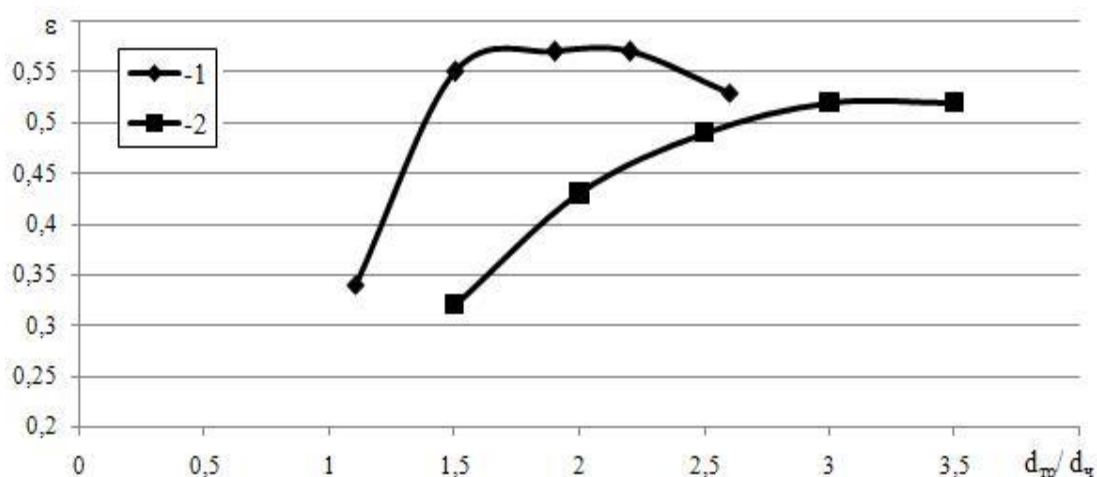


Рис. 2. Влияние $d_{тр}/d_{ч}$ на величину порозности слоя:

1 – $d_{ч} = 2,68$ мм, 2 – $d_{ч} = 2$ мм

Как следует из рис. 2, порозность слоя при $d_{тр}/d_{ч} = 1$ равна 0,33. С увеличением отношения $d_{тр}/d_{ч}$ порозность засыпки возрастает. Несмотря на это, эффекта самопроизвольного подъема частиц в них не наблюдается. Связано это, по-видимому, с тем, что наряду с силами тяжести твердой фазы и гидродинамического давления со стороны потока воздуха, в узких сосудах еще немаловажную роль играет сила трения частиц с ограничивающей слой стенкой.

Список использованных источников

1. Королев В. Н., Марков В. А., Нагорнов С. А., Парышев И. С. Квазикапиллярный эффект в неподвижном продуваемом зернистом слое // Инженерно-физический журнал. 2018. Т. 91. № 1. С. 256–259.
2. Амарская И. Б., Королев В. Н. Исследование причины самопроизвольного перемещения дисперсной среды по трубке, опущенной в неподвижный продуваемый зернистый слой / И. Б. Амарская, В. Н. Королев // Теплотехника и информатика в образовании, науке и производстве (ТИМ 2018). Екатеринбург : УрФУ, 2018. С. 13–17.
3. Королев В. Н., Сыромятников Н. И., Толмачев Е. М. Структура неподвижного и псевдоожигенного слоя зернистого материала вблизи погруженной в него поверхности (стенки) // Инженерно-физический журнал. 1971. Т. 21. № 5. С. 973–978.
4. Гельперин Н. И., Айнштейн В. Г., Кваша В. Б. Основы техники псевдоожигения. М. : Химия, 1967. 664 с.